



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

FACULDADE DE ENGENHARIA DE GUARATINGUETÁ

JEFERSON CARNEIRO DE SOUZA

*Desenvolvimento de aplicativo de análise técnica e econômica para adaptação de uma roda d'água acionada por cima para geração de energia elétrica no meio rural.*

Guaratinguetá

2011

JEFERSON CARNEIRO DE SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO DE ANÁLISE TÉCNICA E  
ECONÔMICA PARA ADAPTAÇÃO DE UMA RODA D'ÁGUA ACIONADA  
POR CIMA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MEIO RURAL.

Trabalho de Graduação  
apresentado ao Conselho de  
Curso de Graduação em  
Engenharia Mecânica da  
Faculdade de Engenharia do  
Campus de Guaratinguetá,  
Universidade Estadual Paulista,  
como parte dos requisitos para  
obtenção do diploma de  
Graduação em Engenharia  
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

Guaratinguetá

2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Jeferson Carneiro de

S729d Desenvolvimento de aplicativo de análise técnica e econômica para adaptação de uma roda d'água acionada por cima para geração de energia elétrica no meio rural / Jeferson Carneiro de Souza – Guaratinguetá : [s.n], 2011.

60 f : il.

Bibliografia: f. 53-54

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

1. Energia elétrica 2. Roda d'agua 3. Eletricidade I. Título

CDU 621.311

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO DE ANÁLISE TÉCNICA E  
ECONÔMICA PARA ADAPTAÇÃO DE UMA RODA D'ÁGUA ACIONADA  
POR CIMA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO MEIO RURAL.

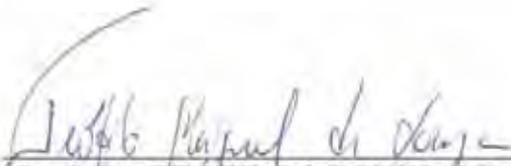
JEFERSON CARNEIRO DE SOUZA

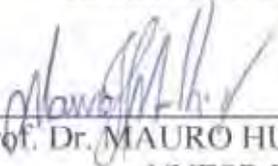
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS  
UNESP-FEG

  
Eng. ALEXANDRE LOPES ALONSO  
Membro Externo

Dezembro de 2011

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Maria Aparecida Carneiro de Souza, por cumprir com o papel de mãe em sua plenitude.

Ao Anderson Carneiro de Souza, pelo suporte no período inicial de minha vida acadêmica.

À Ligia, pela sua inestimável companhia, carinho e dedicação em me sustentar em todos os momentos desta minha difícil caminhada. Obrigado.

Ao Eduardo Dix Fuchs, por me guiar no desenvolvimento deste trabalho com suas brilhantes idéias.

Ao meu orientador Teófilo Miguel de Souza, pela sua disposição e paciência em me orientar nesse trabalho.

## EPÍGRAFE

“Nunca ande pelo caminho traçado, pois ele conduz somente até onde os outros foram.”

(Alexandre Graham Bell)

**SOUZA, J.C.; Desenvolvimento de Aplicativo de análise técnica e econômica para adaptação de uma roda d'água acionada por cima para geração de energia elétrica no meio rural.** 2011. 60f. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **RESUMO**

Considerando a necessidade de se obter energia elétrica a baixo custo e a existência em larga escala de rodas d'água no meio rural, foi desenvolvido um aplicativo, em MS Excel<sup>®</sup>, para fazer uma análise técnico-econômica para auxiliar na determinação da viabilidade de adaptação de uma roda d'água, acionada por cima, para a geração de eletricidade (utilizando um gerador de imã permanente). Este aplicativo calcula (por meio de parâmetros de entrada, tais como altura da queda d'água e vazão d'água) a quantidade de potencia gerada pelo conjunto roda-gerador, além de calcular o valor a se investir para efetuar tal adaptação (considerando a aquisição de tubulação adutora, gerador elétrico e cabo elétrico para o transporte da eletricidade gerada). Foram realizadas pesquisas acerca de equipamentos disponíveis no mercado para se formar um banco de dados a ser utilizado pelo aplicativo. Foi criado também um tutorial para explicar o funcionamento do aplicativo (sendo de fácil utilização devido à sua interface “amigável”), mostrando todas as suas funções, incluindo simulações com exemplos práticos. Por fim, foram feitas as considerações finais as conclusões sobre o trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** energia, roda d'água, geração de eletricidade, gerador elétrico, MS Excel<sup>®</sup>, VBA, aplicativo.

**SOUZA, J.C.; Development of a software of technical and economic analysis for the adaptation of a water wheel driven up to generate electricity in rural areas.** 2011. 60f. Graduation Thesis as Requirement for the Mechanical Engineering Course – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **ABSTRACT**

Considering the necessity in getting low electric energy on a large scale with water wheels in the rural environment, an applicable was made, in Microsoft Excel<sup>®</sup>, in order to analyze technical-economic to assist in determining the ability of adapting these wheels to generate electricity (using a permanent magnet generator). This software calculates (using of input parameters, such as falling water's height and water flow) the amount of power generated by the wheel-generator in addition to calculating the amount invest to accomplish this adaptation (considering the purchase of water main pipe, electric generator and electric cable to transport the electricity generated). Studies were carried out on equipment available in the market to form a database to be used by the software. It was also created a tutorial to explain the software functions (being easy to use because of your “friendly” interface), showing all your functions, include simulations with practical tasks. Finally, the finals considerations were made the conclusions about this work.

**KEYWORDS:** energy, water Wheel, electricity generation, electric generator, MS Excel<sup>®</sup>, VBA, software.

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1: Alguns exemplos de rodas hidráulicas rústicas.</i>	17
<i>Figura 1.2: Geração de torque em uma roda acionada por cima.</i>	18
<i>Figura 1.3: Roda d'água acoplada a um gerador.</i>	18
<i>Figura 1.4: Especificação do diâmetro da tubulação adutora.</i>	19
<i>Figura 1.5: MV por correntes do laboratório da UNESP – Guaratinguetá.</i>	20
<i>Figura 1.6: MV por correias e polias</i>	20
<i>Figura 1.7: Fenômeno conhecido como “Lei de Lens”.</i>	21
<i>Figura 1.8: Desenho esquemático de um gerador elétrico.</i>	22
<i>Figura 1.9: Forma de onda da tensão induzida na bobina do estator em função da posição do rotor.</i>	22
<i>Figura 1.10: Imagem ilustrativa de um cabo elétrico flexível.</i>	23
<i>Figura 1.11: Transformações da energia até a sua utilização.</i>	24
<i>Figura 2.1: Método do tambor (medição de vazão).</i>	28
<i>Figura 2.2: Método do flutuador (medição de vazão).</i>	29
<i>Figura 2.3: Método do carpinteiro.</i>	30
<i>Figura 2.4: Medida da altura de um declive através da vara e da mangueira.</i>	31
<i>Figura 4.1: Tela de entrada do aplicativo E-Roda.</i>	36
<i>Figura 4.2: Página Principal do aplicativo E-Roda.</i>	37
<i>Figura 4.3: Parâmetros de entrada preenchidos.</i>	38
<i>Figura 4.4: Tela após o clique no botão Calcular.</i>	39
<i>Figura 4.5: Tela após o clique no botão Limpar.</i>	39
<i>Figura 4.6: Mensagens críticas exibidas pelo aplicativo.</i>	40
<i>Figura 4.7: Mensagens de alerta exibidas pelo aplicativo.</i>	41
<i>Figura 4.8: Dados de saída (output) da página Principal do E-Roda.</i>	42
<i>Figura 4.9: Página Lista de Aparelhos após o processamento do aplicativo.</i>	42
<i>Figura 4.10: Página Investimento com os valores monetários para a adaptação da roda d'água.</i>	43
<i>Figura 4.11: Página Legenda do aplicativo E-Roda.</i>	43
<i>Figura 4.12: Página Sobre que contém informações sobre o aplicativo e o autor.</i>	44
<i>Figura 4.13: Fluxograma de funcionamento do aplicativo.</i>	44
<i>Figura 5.1: Entrada de dados do exemplo 1.</i>	46
<i>Figura 5.2: Análise técnica do aplicativo para o exemplo 1.</i>	46
<i>Figura 5.3: Lista de aparelhos para o exemplo 1.</i>	47
<i>Figura 5.4: Análise econômica do aplicativo (investimento) para o exemplo 1.</i>	47
<i>Figura 5.5: Entrada de dados do exemplo 2.</i>	49
<i>Figura 5.6: Análise técnica do aplicativo para o exemplo 2.</i>	49
<i>Figura 5.7: Lista de aparelhos para o exemplo 2.</i>	50
<i>Figura 5.8: Análise econômica do aplicativo (investimento) para o exemplo 2.</i>	50

## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1.1: Classificação de PCH's (Eletrobras, 1982).</i>	15
<i>Tabela 1.2: Reclassificação das usinas (CERPCH).</i>	16
<i>Tabela 3.1: Modelos de Roda D'água disponíveis no mercado (condição econômica – julho/11).</i>	32
<i>Tabela 3.2: Geradores utilizados no banco de dados do aplicativo (condição econômica – julho/11).</i>	33
<i>Tabela 3.3: Dados de tubos d'água disponíveis no mercado (condição econômica – outubro/11).</i>	33
<i>Tabela 3.4: Cabos elétricos disponíveis no mercado (condição econômica – outubro/11).</i>	34
<i>Tabela 3.5: Potência média de aparelhos elétricos.</i>	35

# SUMÁRIO

## RESUMO

## ABSTRACT

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
1.2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	14
1.2.1	DEFINIÇÃO DE SISTEMA HIDRÁULICO	14
1.2.2	ENERGIA HIDRÁULICA	14
1.2.4	RODA D'ÁGUA	16
1.2.5	TUBULAÇÃO ADUTORA	19
1.2.6	MULTIPLICADORES DE VELOCIDADE (MV)	20
1.2.7	ELETRICIDADE E MAGNETISMO	21
1.2.8	GERADOR ELÉTRICO	21
1.2.9	DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CONDUTORES ELÉTRICOS)	22
1.2.10	FUNCIONAMENTO DA PICO CENTRAL HIDRELÉTRICA (PCH)	23
1.2.11	SOBRE O MS EXCEL <sup>®</sup> E O VBA	24
<b>2.</b>	<b>BASE DO CÁLCULO PARA O DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO</b>	<b>25</b>
2.1	DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO ADUTORA	25
2.2	CÁLCULO DAS POTÊNCIAS	25
2.2.1	POTÊNCIA BRUTA – $P_B$	26
2.2.2	POTÊNCIA DISPONÍVEL PELA RODA D'ÁGUA – $PRD$	26
2.2.4	POTENCIA DISPONÍVEL PELO MULTIPLICADOR DE VELOCIDADE – $PMV$	27
2.2.5	POTENCIA DISPONÍVEL PELO GERADOR ELÉTRICO	27
2.2.6	POTÊNCIA DISPONÍVEL PARA UTILIZAÇÃO	27
2.3	CÁLCULO DA ROTAÇÃO DA RODA D'ÁGUA	27
2.4	CÁLCULO DA VAZÃO D'ÁGUA	28
2.5	CÁLCULO DA ALTURA DA QUEDA D'ÁGUA	29
<b>3.</b>	<b>COLETA DE DADOS</b>	<b>32</b>
3.1	MODELOS DE RODA D'ÁGUA	32

3.2	MODELOS DE GERADORES	33
3.3	TUBULAÇÃO ADUTORA	33
3.4	CONDUTORES ELÉTRICOS	34
3.5	APARELHOS ELÉTRICOS	34
<b>4.</b>	<b>FUNCIONAMENTO DO APLICATIVO “E-RODA”</b>	<b>36</b>
4.1	PÁGINA PRINCIPAL	36
4.1.1	INPUT	37
4.1.2	BOTÕES CALCULAR, LIMPAR E FECHAR	38
4.1.3	VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA	39
4.1.4	OUTPUT	41
4.2	LISTA DE APARELHOS	42
4.3	INVESTIMENTO	42
4.4	AJUDA	43
4.5	SOBRE	43
4.6	FLUXOGRAMA	44
5.	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	45
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	51
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
8.	APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO APLICATIVO “E-RODA”	55

## 1. INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos alcançados ao longo dos últimos 50 anos a energia elétrica disponível nas cidades tornou-se algo trivial. Todavia na zona rural de muitas cidades brasileiras a realidade é outra, pois ainda existem muitos lugares onde a disponibilidade de energia elétrica é um luxo.

Programas como “Luz no campo” e o seu sucessor “Luz para todos” (ambos do Governo Federal) intentam suprir a deficiência energética rural. Porém ainda há muito a se fazer para que todas as famílias brasileiras que vivem no campo possam ter acesso à energia elétrica.

O intuito deste trabalho é de auxiliar o morador da zona rural na tomada de decisão quanto à adaptação de uma roda d'água (acionada por cima), existente na propriedade, para geração de energia elétrica, visto que esta é uma forma simples de se obter energia elétrica no meio rural. Pois basta a existência de uma queda d'água, com vazão suficiente, para girar a roda d'água e gerar energia elétrica por meio de um gerador (de ímã permanente) acoplado à mesma.

O escopo deste trabalho consiste no desenvolvimento de um aplicativo em Microsoft EXCEL<sup>®</sup> - com o auxílio do *Visual Basic for Applications* (VBA) - para uma ágil avaliação do potencial energético e de viabilidade econômica de uma roda d'água já instalada, considerando os valores de vazão d'água e do desnível útil de água.

## 1.1 Estrutura do trabalho

O estudo está dividido em sete partes. A primeira trata-se da introdução teórica do assunto, que servirá como base para o desenvolvimento do aplicativo.

Na segunda parte os conceitos teóricos do primeiro capítulo são utilizados para montar a base de cálculo do aplicativo.

No terceiro capítulo é apresentado um banco de dados de equipamentos e materiais, com suas especificações, disponíveis no mercado brasileiro. Parte deste banco de dados alimentará o aplicativo “E-Roda”.

O quarto capítulo explana sobre o funcionamento do aplicativo.

No quinto capítulo é feita uma prova funcional do aplicativo, com dois exemplos fictícios de aplicação.

O sexto capítulo refere-se às conclusões e trabalhos futuros.

A sétima e última parte trata-se das referências utilizadas como base para a realização desse estudo.

## 1.2 Fundamentos Teóricos

Nesta seção são apresentados alguns conceitos teóricos essenciais ao entendimento deste trabalho.

### 1.2.1 Definição de Sistema Hidráulico

Segundo LINSINGEN (2003) sistema hidráulico consiste num conjunto de elementos físicos associados que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia, permite a transmissão e controle de forças de movimento. É o meio pelo qual uma forma de energia de entrada é convertida e condicionada, tendo como saída energia mecânica útil.

#### 1.2.1.1 Campo de Aplicação

Os campos de aplicação dos sistemas hidráulicos cobrem praticamente todos os ramos de atividades. Porém para se ter noção de abrangência, LINSINGEN (2003) subdivide-os em seis grupos:

- ✓ Hidráulica Industrial
- ✓ Siderurgia, Engenharia Civil, **Geração de Energia** e Extração Mineral
- ✓ Hidráulica Móbil
- ✓ Hidráulica para Aplicações Navais
- ✓ Aplicações Técnicas Especiais
- ✓ Aplicações Gerais

### 1.2.2 Energia Hidráulica

Rios e riachos estão entre as maiores forças da natureza. A força da água movendo-se em um rio de tamanho moderado pode exceder vários milhões de cavalos vapor (HP). Ao longo do tempo, esta força cortou montanhas e levou bilhões de toneladas de solo e escombros para os oceanos. É essa força, chamada de “energia hidráulica” que os homens procuraram capturar quando imaginaram e construíram as represas para geração de energia elétrica (JUNIOR, 2007, p. 15).

As máquinas hidráulicas são as responsáveis pela utilização da energia hidráulica. Estas se desenvolveram ao longo do tempo e atualmente são as máquinas de melhor rendimento, podendo chegar a 90% (JUNIOR, 2007).

Para países que possuem grande quantidade de rios e relevos adequados, a principal forma de se obter energia elétrica é através da energia hidráulica, disponíveis nas quedas d'águas existentes. O Brasil é um exemplo, onde 85% da energia elétrica produzida vêm das chamadas hidrelétricas (JUNIOR, 2007).

### 1.2.3 Centrais hidrelétricas

As centrais hidrelétricas, de acordo com Junior (2007), aproveitam um desnível existente em um curso d'água, mas podem também criar este desnível (ou aumentá-lo), por meio de construção de barragens. A passagem da água do nível mais elevado pela turbina hidráulica realiza a conversão de energia hidráulica em mecânica, e a energia mecânica é transformada em elétrica por meio do gerador elétrico, sendo assim utilizada para alimentação da população.

As grandes centrais hidrelétricas estão mais associadas a grandes barragens e grandes reservatórios, além de impactos sócio-ambientais severos. Já as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) os impactos ambientais e a capacidade de geração de energia são menores, além de custos unitários de instalação e operação maiores que as grandes centrais (JUNIOR, 2007).

As Micro-Centrais Hidrelétricas (MCH's) é uma das formas mais ambientalmente amigáveis de produção de energia elétrica (JUNIOR, 2007).

As PCH's são classificadas pelo Manual da Eletrobrás (1982) da seguinte forma:

Tabela 1.1: Classificação de PCH's (Eletrobras, 1982).

<b>Categoria</b>	<b>Potência</b>	<b>Queda D'água</b>
Microcentral	Menor que 100kW	Entre 15 e 50 metros
Minicentral	Entre 100 kW e 1 MW	Entre 20 e 100 metros
PCH	Entre 1 MW e 10 MW	Entre 25 e 130 metros

Fonte: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/oque.php>

Porém, segundo o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) sugere uma reclassificação conforme Tabela 1.2.

Tabela 1.2: Reclassificação das usinas (CERPCH).

<b>Hidrelétricas</b>	<b>Potência</b>
Grandes Centrais (GCH)	Acima de 50MW
Médias Centrais (UHE)	De 30 e 50 MW
Pequenas Centrais (PCH)	De 1 e 30 MW
Mini Central (mCH)	De 100 até 1000 kW
Micro Central (mCH)	De 20 Até 100 kW
Pico Central (pCH)	Até 20 kW

Fonte: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/oque.php>

Essa segunda classificação é mais adequada à realidade do projeto em questão, pois é mais segmentada. Assim, pode-se concluir que a geração de energia elétrica por meio de uma roda d'água é considerada uma Pico Central Hidrelétrica (pCH).

#### 1.2.4 Roda D'água

As primeiras rodas d'água (ou também chamadas de rodas hidráulicas) foram construídas por volta de 200 a.C. (LINSINGEN, 2003), perdurando seu uso até os dias atuais através dos moinhos de água. Sua evolução culminou nas atuais e potentes turbinas hidráulicas das centrais hidrelétricas, que geram até milhões de watts de potência.

Segundo Macintyre (1983) roda d'água (ou roda hidráulica) é uma máquina motriz rudimentar, de bom rendimento, em que a água atua com a predominância de um dos tipos de energia que possui, de acordo com o tipo da roda.

Também de acordo com Macintyre (1983) seu uso é restrito a fazendas, sítios e pequenas indústrias, onde são utilizadas para acionar moinhos, engenhos de serra, bombas e pequenos geradores elétricos. Esta última utilização é o enfoque deste trabalho.

Considerando este enfoque pode-se considerar a roda d'água como um tipo de hidroturbina, pois segundo Potter e Wiggert (2004) hidroturbinas extraem energia útil da água que escoam num sistema de tubulação, onde esta energia é transformada em energia cinética de rotação. Esta energia é representada através de um torque no eixo rotativo da hidroturbina, que pode acionar um gerador elétrico.

### 1.2.4.1 Classificação

O que determina o tipo de roda d'água está relacionado com a forma com que a água atinge a roda, podendo ser classificada como:

- ✓ Rodas de cima;
- ✓ Rodas lado;
- ✓ Rodas de baixo;
- ✓ Rodas flutuantes.

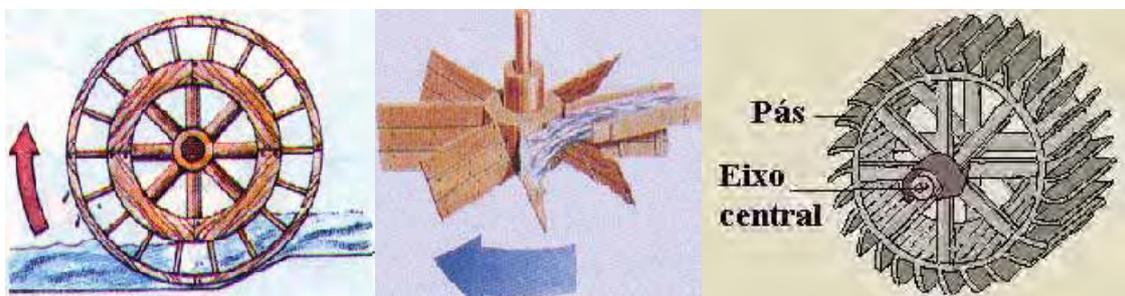


Figura 1.1: Alguns exemplos de rodas hidráulicas rústicas.

Um tipo muito comum de roda d'água encontrada no Brasil é a acionada por cima. O escopo deste projeto está voltado para este tipo de roda.

#### *Funcionamento das Rodas de Cima*

Conforme Figura 1.2, uma queda d'água é direcionada para a parte superior da roda d'água, fazendo com que suas caçapas (ou cubas) sejam preenchidas pela corrente de água, aumentando de peso. Por diferença de energia potencial, a caçapa preenchida tende a descer fazendo a roda girar através do torque gerado em seu eixo. À medida que a caçapa desce vai despejando água e diminuindo seu peso, em contrapartida a caçapa que passa pela corrente d'água na parte de cima fica mais pesada, e esse ciclo faz com que a roda d'água funcione perpetuamente, enquanto existir água (MACINTYRE, 1983).

O formato das cubas é projetado para que as mesmas retenham água o maior tempo possível (até o nível mais baixo), aumentando a força peso, e conseqüentemente o torque (JUNIOR, 2007).

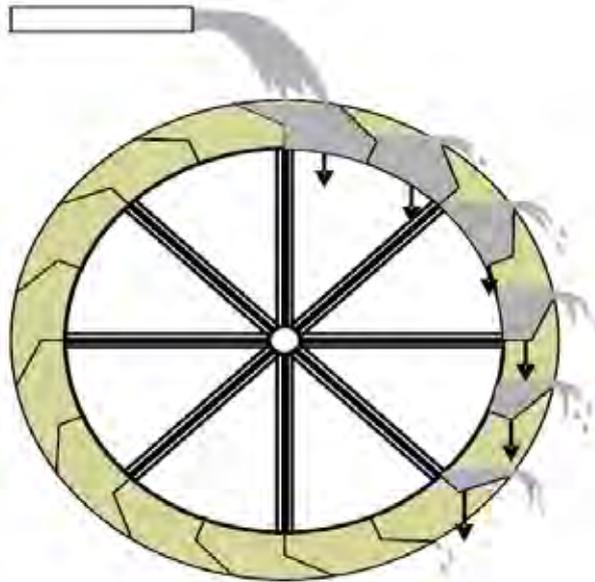


Figura 1.2: Geração de torque em uma roda acionada por cima.

Esse torque gerado no eixo da roda é utilizado para gerar energia elétrica, por meio de um gerador elétrico acoplado ao eixo da roda, conforme Figura 1.3.



Figura 1.3: Roda d'água acoplada a um gerador.

Como regra prática para as instalações desse tipo de roda, deve-se evitar ao máximo o choque da água com a caçapa, no momento da entrada da água na mesma, fazendo com que a água entre com uma velocidade tangente à pá, que forma uma das paredes da caçapa (MACINTYRE, 1983).

### 1.2.5 Tubulação Adutora

Para transportar a água do manancial até a roda d'água é necessário especificar a tubulação que transportará o fluido. Assim é necessário especificar um diâmetro mínimo que suportará a vazão d'água determinada.

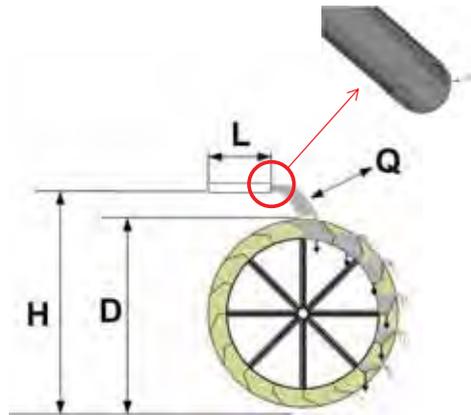


Figura 1.4: Especificação do diâmetro da tubulação adutora.

### 1.2.6 Multiplicadores de Velocidade (MV)

De acordo com Junior (2007) a rotação do eixo da roda d'água é insuficiente para fazer um gerador trabalhar adequadamente. Rodas d'águas não ultrapassam 40 [rpm], e não existem geradores, no mercado brasileiro, para esta faixa de rotação e pequena potência. Desta forma é necessário multiplicar a velocidade de saída do eixo de uma roda d'água antes de acoplá-la a um gerador.

O multiplicador de velocidade é o dispositivo de interface entre a roda d'água e o gerador elétrico, ou seja, este equipamento aumenta a rotação de saída da roda para uma faixa de rotação compatível para a utilização do gerador.

E esta multiplicação da velocidade pode ser feita de várias formas, seja através de polias, engrenagens ou correntes.

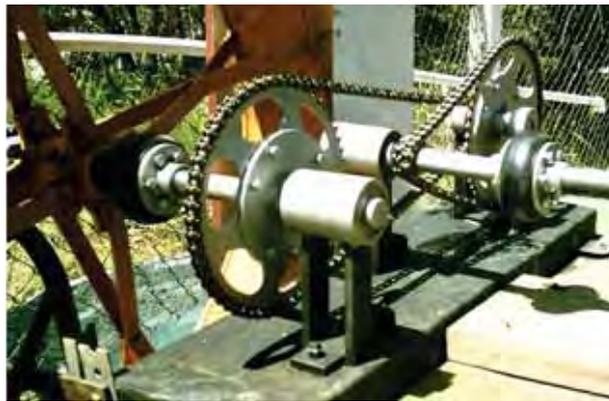


Figura 1.5: MV por correntes do laboratório da UNESP – Guaratinguetá.



Figura 1.6: MV por correias e polias

Não faz parte do escopo deste trabalho projetar o multiplicador de velocidade. Uma das saídas do aplicativo é a determinação do fator de multiplicação de velocidade entre a roda d'água e o gerador. Assim, o multiplicador de velocidade escolhido (seja de correia-polia, engrenagens ou

correntes) deve atender a este fator, de forma que o gerador trabalhe convenientemente.

### 1.2.7 Eletricidade e Magnetismo

Segundo Junior (2007) a ligação entre eletricidade e magnetismo foi descoberta por Orsted, quando verificou que o fenômeno da deflexão da agulha de uma bússola ao aproximá-la de um de um condutor com eletricidade. Assim concluiu-se que uma corrente elétrica em um condutor induz um campo magnético em suas proximidades.

Posteriormente Faraday descobriu outra conexão: a variação de um campo magnético que atinge um fio condutor de eletricidade faz com que apareça uma corrente induzida no mesmo. Logo, aproximando ou afastando um ímã de uma bobina, corrente elétrica na mesma será induzida. Esta mesma corrente induzida gera outro campo magnético, oposto ao anterior. Este fenômeno é conhecido como Lei de Lenz (JUNIOR, 2007).

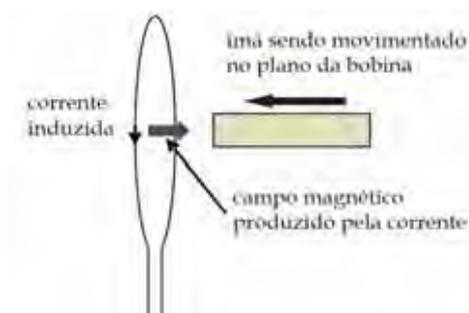


Figura 1.7: Fenômeno conhecido como “Lei de Lenz”.

### 1.2.8 Gerador Elétrico

Ao movimentar um ímã próximo a um condutor, nesse condutor irá aparecer uma tensão induzida. O gerador elétrico é o aparelho elétrico que visa à otimização desse processo, e é constituído de um rotor, que é girante e que produz o campo magnético. Já a parte onde a bobina está fixada chama-se estator, pois é a parte fixa da máquina (NOGUEIRA, 2007).

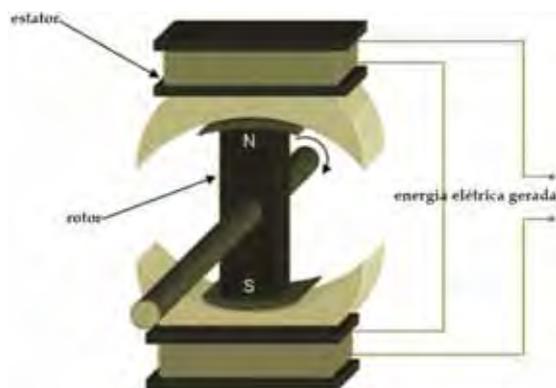


Figura 1.8: Desenho esquemático de um gerador elétrico.

Nogueira (2007) afirma que quando há o movimento giratório do rotor há variação do campo magnético nas bobinas do estator, gerando a tensão induzida. E esta tensão gerada é do tipo alternada (senoidal), pois varia de acordo com a posição do ímã do estator.

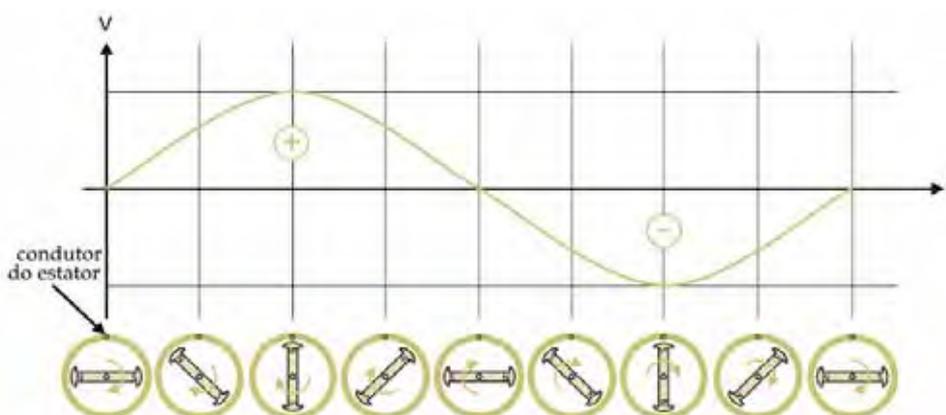


Figura 1.9: Forma de onda da tensão induzida na bobina do estator em função da posição do rotor.

Os geradores são máquinas de alto rendimento (85 a 90%), considerando uma faixa de potência de microcentrais hidrelétricas, que é o caso deste trabalho. A maior parte dos geradores é do tipo síncrono (eletroímã no rotor). Estes geralmente são de baixas tensões (110/220[V]), que são as tensões padronizadas da maioria dos equipamentos elétricos existentes (NOGUEIRA, 2007).

### 1.2.9 Distribuição de Energia Elétrica (condutores elétricos)

Após a transformação da energia hidráulica para a elétrica, esta precisa ser transportada até o local onde será utilizada. Considerando o meio rural, esta

utilização pode consistir numa iluminação de um rancho, por exemplo, ou até mesmo a residência da família, onde a energia elétrica pode ser consumida.

Para o transporte de energia elétrica utiliza-se o condutor elétrico, que é, de acordo com Cotrim (1992), o produto metálico, geralmente de forma cilíndrica e cujo comprimento é muito maior que a maior dimensão transversal, utilizado para transportar energia elétrica.

Neste projeto será considerado o método do Ampère x metros (SOUZA, 2002) para o dimensionamento da área da seção transversal (bitola) dos condutores elétricos. E o cabo elétrico flexível é tipo de condutor elétrico escolhido neste projeto.

Este método considera a corrente elétrica que passará pelo cabo elétrico e a distância (metros) que esta corrente será transportada. Quanto maior o produto Ampère x metro, maior será a bitola do cabo elétrico utilizado neste transporte.



Figura 1.10: Imagem ilustrativa de um cabo elétrico flexível.

### 1.2.10 Funcionamento da Pico Central Hidrelétrica (pCH)

A energia potencial oferecida pela queda d'água é transformada em energia cinética (giro do eixo da roda). A roda d'água transfere a energia cinética de rotação para o gerador elétrico por meio de um multiplicador de velocidade. Este multiplica a velocidade angular da roda (da ordem de 25[rpm]) e disponibiliza esse aumento da rotação para o gerador (entre 600 e 1200 [rpm]).

A energia elétrica obtida pelo gerador é monofásica, ou seja, através de dois fios (denominados fase e neutro). Por meio de cabos elétricos, essa energia é levada para o local onde será utilizada.



Figura 1.11: Transformações da energia até a sua utilização.

### 1.2.11 Sobre o MS Excel<sup>®</sup> e o VBA

Planilha eletrônica é um programa de computador que possui linhas e colunas que são apresentadas numa janela. O cruzamento destas formam as células, que podem conter um número, texto ou uma fórmula (Silva, 1998).

A planilha eletrônica mais conhecida e utilizada no mundo é o Excel<sup>®</sup>, desenvolvido pela Microsoft. Segundo Silva (1998), o Excel<sup>®</sup> é um software integrado de planilhas, gráficos e macros, o que o torna uma poderosa ferramenta que permite executar uma variedade de tarefas para a área comercial, científica e de engenharia.

Já o VBA (Visual Basic for Applications) é uma linguagem de programação baseada na conhecida linguagem Basic. Esta linguagem pode ser utilizada nos aplicativos do Microsoft Office, incluindo o Excel<sup>®</sup>.

O aplicativo produto deste trabalho foi desenvolvido em Excel<sup>®</sup>, utilizando o VBA, associado ao Excel<sup>®</sup>, para melhorar a interface para o usuário final do aplicativo.

## 2. BASE DO CÁLCULO PARA O DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Neste capítulo será apresentada a base de cálculo sobre a qual o aplicativo foi desenvolvido.

### 2.1 Dimensionamento da tubulação adutora

Existem várias fórmulas empíricas para o cálculo do diâmetro da tubulação. Há também inúmeras tabelas de diferentes fabricantes de tubos. O cálculo para determinar a tubulação adutora será baseado no método de Bresse<sup>1</sup>, e obedece a seguinte equação:

$$D = K\sqrt{Q} \quad (1)$$

Onde:

D: diâmetro do tubo [m];

K: coeficiente de custo de investimento x custo operacional ( $0,8 < 1,0$ );

Q: Vazão da água [m<sup>3</sup>/s].

Na prática, adota-se um diâmetro comercial imediatamente superior ao diâmetro calculado pela equação de Bresse (manual técnico Schneider motobombas).

### 2.2 Cálculo das Potências

Para determinar a potência disponível para a utilização é necessário considerar todas as perdas que ocorrem nas transformações de energia. Ou seja, a potência disponível não é igual à potência bruta, mas sim menor.

Macintyre (1983) afirma que a equação que fornece a potência útil de uma roda d'água é a mesma empregada no caso das turbinas, isto é:

---

<sup>1</sup>Jaques Antoine Charles Bresse (1822-1883), nascido em Vienne, Isère, professor de Matemática em Paris ([www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Adutora01.html](http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Adutora01.html)).

$$P_u = \frac{QH\eta}{75} \quad (2)$$

Onde:

$P_u$ : potência útil da roda d'água [cv];

$Q$ : vazão volumétrica do canal [l/s];

$H$ : queda topográfica [m];

$\eta$ : rendimento.

Exemplo: Para uma vazão de 10[l/s],  $H = 2$ [m] e  $\eta = 0,8$ , tem-se:

$$P_u = \frac{QH\eta}{75} = \frac{10 \times 2 \times 0,8}{75} = 0,21[\text{cv}] \cong 157[\text{W}]$$

Este rendimento é definido experimentalmente e será analisado em outros rendimentos para melhor definição das potências intermediárias descritas adiante.

### 2.2.1 Potência Bruta – $P_b$

Consiste na equação definida por Macintyre (1983) desconsiderando o rendimento, ou seja, a potência máxima que pode ser extraída de uma queda d'água.

$$P_b = \frac{QH}{75} \quad (3)$$

Onde:

$P_b$ : potência bruta da queda d'água [cv];

$Q$ : vazão volumétrica do canal [l/s];

$H$ : queda topográfica [m].

### 2.2.2 Potência disponível pela roda d'água – $P_{rd}$

Nem toda a energia potencial disponível é convertida em energia cinética pela roda d'água. Assim, de acordo com Souza T.M. e Bianchi I. (2002) existem perdas de ordem hidráulica, volumétrica e mecânica nesta transformação, sendo considerados todos no mesmo fator, que é o rendimento da roda d'água ( $\eta_{rd}$ ).

Para o cálculo da potencia disponível pela roda d'água, considera-se a equação a seguir:

$$Prd = \eta_{rd} \times Pb \quad (4)$$

Para cálculos práticos aproximados, considerando o gerador a plena carga, adota-se  $\eta_{rd} = 0,8$  (SOUZA, T.M.; BIANCHI, I, 2002).

#### 2.2.4 Potencia disponível pelo multiplicador de velocidade – Pmv

A interface que este dispositivo realiza também causa perdas, sobretudo perdas devido aos acoplamentos entre o eixo da roda d'água e o eixo do gerador. Assim, deve-se considerar um rendimento do multiplicador de velocidade ( $\eta_{mv}$ ) para determinar a potência mecânica disponível (Pmv) para o gerador elétrico.

$$Pmv = \eta_{mv} \times Prd \quad (5)$$

#### 2.2.5 Potencia disponível pelo gerador elétrico

A potência disponível ao gerador elétrico pelo multiplicador de velocidade não é a potência elétrica que o gerador disponibilizará, isto porque o mesmo também possui um rendimento associado ao equipamento ( $\eta_g$ ).

Assim, a potência disponível na saída do gerador é:

$$Pg = \eta_g \times Pmv \quad (6)$$

#### 2.2.6 Potência disponível para utilização

A energia elétrica fornecida pelo gerador precisa ser transportada até o local onde será utilizada. Este transporte, como já visto, é feito por meio de cabos elétricos. Este transporte também sofre perdas. Neste projeto a perda associada ao transporte será considerada de 2% da potência elétrica fornecida pelo gerador (SOUZA, 2010).

Enfim, a potência disponível para a utilização (Pd) do usuário final será:

$$Pd = 0,98 \times Pg \quad (7)$$

### 2.3 Cálculo da Rotação da Roda D'água

Para o cálculo da rotação do eixo da roda d'água é dada pela equação três (SOUZA; COSTA, 2011), que consiste no uso adaptado da equação de *Bernoulli*:

$$N = \frac{25\sqrt{H}}{D} \quad (8)$$

Onde:

H: altura da queda d'água [m];

D: diâmetro da roda d'água [m];

N: velocidade de giro do eixo da roda [rpm].

## 2.4 Cálculo da Vazão D'água

Um dos parâmetros fundamentais para se dimensionar uma roda d'água é a vazão d'água que é despejada nas caçapas. Para se medir a vazão há dois métodos práticos para se calcular a vazão: método do tambor e método do flutuador.

### 2.4.1 Método do Tambor

Esse método é muito simples e prático de se obter a vazão de uma determinada calha.

Primeiro deve-se direcionar o fluxo de água que se deseja medir a vazão para um tambor de capacidade conhecida (20, 50, 100 ou 200 metros). Anota-se o tempo necessário para o enchimento do tambor. Dividindo-se a capacidade do tambor pelo tempo que este leva para ser preenchido, obtém-se a vazão.

$$Q = \frac{\text{capacidade do tambor [l]}}{\text{tempo de enchimento [s]}} \quad (9)$$



Figura 2.1: Método do tambor (medição de vazão).

### 2.4.2 Método do Flutuador

Com uma enxada acerta-se a margem do rego, córrego ou igarapé para que a largura fique uniforme em um comprimento de 5 metros. Depois é necessário que se faça com que a profundidade fique uniforme no mesmo local onde foi acertada a margem.

A seguir deve se medir a largura e a profundidade.

Ao longo desses 5 metros (com largura e profundidade uniformes) coloca-se uma rolha, pedaço de isopor, galho ou qualquer coisa que flutue com facilidade um pouco antes do início e marca-se quantos segundos foram necessários para percorrer a distância uniforme de 5[m].

A vazão[m<sup>3</sup>/s] é obtida multiplicando-se o comprimento, a largura e a profundidade e dividindo pelo tempo em que o material escolhido leva para percorrer este percurso.

$$Q = \frac{\text{comprimento[m]} \times \text{largura[m]} \times \text{profundidade[m]}}{\text{tempo para percorrer o comprimento[s]}} \quad (10)$$

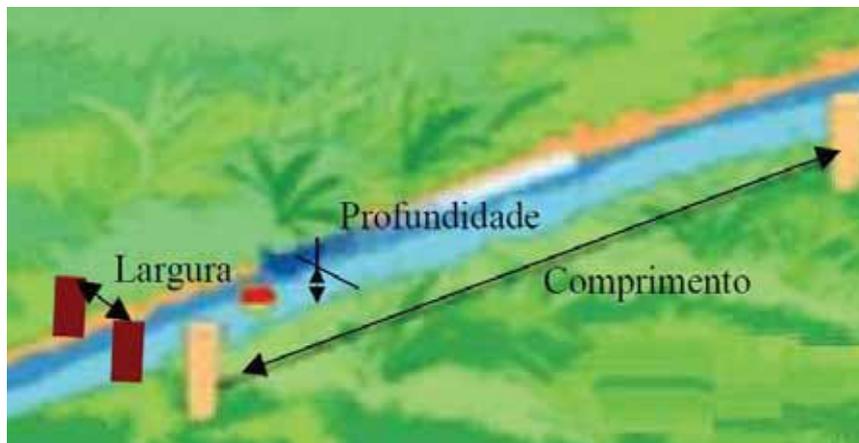


Figura 2.2: Método do flutuador (medição de vazão).

### 2.5 Cálculo da Altura da Queda D'água

Outro parâmetro de vital importância é a altura da queda d'água. A queda disponível numa instalação de turbina é o desnível entre a superfície da água na tomada e o nível de descarga do líquido no canal de descarga, já a queda útil é a diferença entre a altura correspondente à queda disponível e as perdas de carga nos elementos da instalação externos à turbina (roda d'água). Para determiná-la

são apresentados a seguir dois métodos muito simples e com uma precisão satisfatória.

### 2.5.1 Método do Carpinteiro

Esse método necessita-se de duas pessoas. Uma com algumas estacas e a outra com um nível de carpinteiro.

Segundo Junior (2007), deve-se proceder da seguinte forma:

As duas pessoas devem ir ao local onde se deseja medir a altura da queda d'água.

Começando pelo nível mais baixo, uma das pessoas (de altura conhecida) coloca o nível de carpinteiro na altura dos olhos. Assim fazendo mira no ponto que se deverá marcar, com o cuidado de manter o nível na horizontal.

A outra pessoa deve marcar com a estaca o ponto indicado pela outra.

Em seguida a primeira pessoa vai até o lugar marcado pela estaca e repete-se o procedimento, até que se atinja o nível superior da queda d'água.

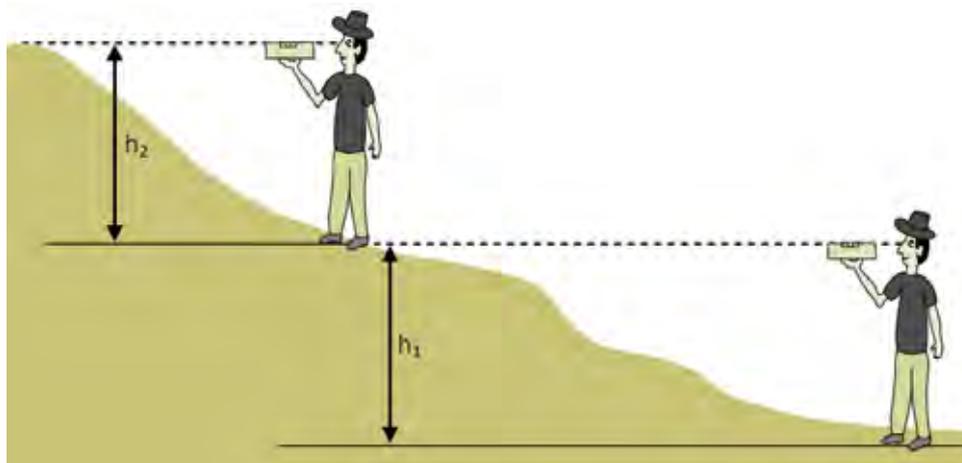


Figura 2.3: Método do carpinteiro.

Assim, para se calcular a altura da queda d'água utiliza-se a fórmula abaixo:

$$H = nh \quad (11)$$

Onde:

H: altura da queda d'água.

n: número de medidas.

h: altura do solo até os olhos da pessoa que fez a mira.

### 2.5.2 Método da Mangueira de Nível

Conforme SOUZA (2011) este método consiste em prender a ponta de uma mangueira na ponta de uma vara. A outra ponta da mangueira deve-se colocar no nível d'água, fazendo com que a água passe pela mangueira. Com isso, eleva-se a verticalmente até que a água pare de jorrar pela ponta da mangueira que está fixada na ponta da vara. Este é o ponto do nivelamento entre o nível d'água e a ponta da vara. Assim, basta medir o comprimento da vara para achar a altura do desnível.

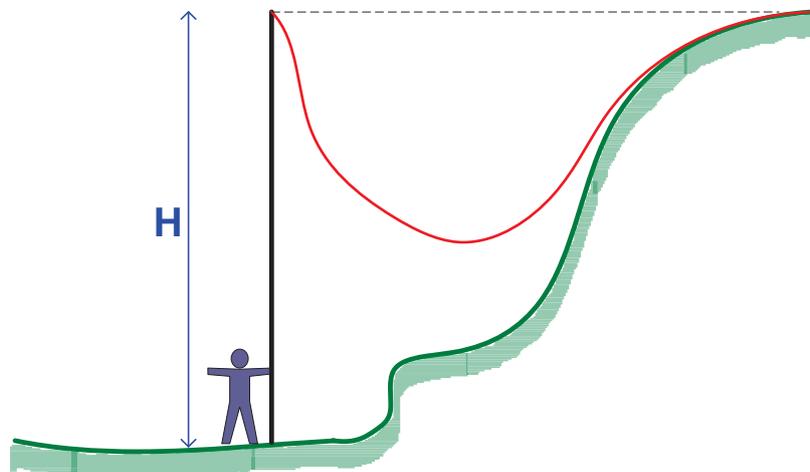


Figura 2.4: Medida da altura de um declive através da vara e da mangueira.

### 3. COLETA DE DADOS

Com o intuito de se montar uma base de dados para ser utilizada pelo aplicativo, foi realizada uma pesquisa a cerca dos equipamentos existentes no mercado e apresentada neste capítulo.

#### 3.1 Modelos de Roda d'água

Apesar do escopo do aplicativo já considerar a existência de roda d'água, segue uma lista de dois fabricantes nacionais de rodas d'água para servir de banco de dados para futuras melhorias no aplicativo. São eles: ZM BOMBAS e ROCHFÉR.

Segue a relação das rodas disponíveis por estes dois fabricantes (consulta própria):

Tabela 3.1: Modelos de Roda D'água disponíveis no mercado (condição econômica – julho/11).

Marca	Modelo	Diâmetro	Largura	Vazão	Preço
		[m]	[m]	Mínima [l/s]	[R\$]
Rochfer	MSG-42F	1,10	0,13	1,0	679,00
Rochfer	MSG-42	1,10	0,17	1,0	728,00
Rochfer	MSG-51	1,37	0,17	1,0	903,00
Rochfer	MSG-70	1,90	0,25	1,0	2.107,00
Rochfer	MSG-76	2,20	0,36	1,0	3.570,00
ZM Bombas	MAXXI 0,80 x 0,15m (D29,2)	0,80	0,15	2,0	525,00
ZM Bombas	MAXXI 0,80 x 0,25m (D29,2)(1P-38MX/44M)	0,80	0,25	2,0	565,00
ZM Bombas	MAXXI 1,00 x 0,15m (D29,2)-1P38MX/ZM44)	1,00	0,15	2,0	620,00
ZM Bombas	MAXXI 1,00 x 0,25m (D29,2)(ZM-44 MX)	1,00	0,25	2,0	655,00
ZM Bombas	MAXXI 1,26 x 0,18m (D32,5)	1,26	0,18	2,0	825,00
ZM Bombas	MAXXI 1,26 x 0,25m (D32,5)	1,26	0,25	2,0	855,00
ZM Bombas	MAXXI 1,40 x 0,18m (D32,5)(ZM-51 MX)	1,40	0,18	2,0	825,00
ZM Bombas	MAXXI 1,40 x 0,25m (D32,5)(ZM-51 MX)	1,40	0,25	2,0	910,00
ZM Bombas	MAXXI 1,50 x 0,18m (D32,5)	1,50	0,18	2,0	1.000,00
ZM Bombas	MAXXI 1,50 x 0,25m (D32,5)(8R-63 MX)	1,50	0,25	2,0	1.110,00
ZM Bombas	MAXXI 1,50 x 0,35m (D39,3)	1,50	0,35	2,0	1.735,00
ZM Bombas	MAXXI 1,80 x 0,18m (D32,5)	1,80	0,18	2,0	1.240,00
ZM Bombas	MAXXI 1,80 x 0,25m (D32,5)(ZM-63 MX)	1,80	0,25	2,0	1.400,00
ZM Bombas	MAXXI 1,80 x 0,25m (D39,3)(ZM-76)	1,80	0,25	2,0	1.630,00
ZM Bombas	MAXXI 1,80 x 0,35m (D39,3)	1,80	0,35	2,0	1.990,00
ZM Bombas	MAXXI 2,00 x 0,18m (D32,5)	2,00	0,18	2,0	1.410,00
ZM Bombas	MAXXI 2,00 x 0,25m (D39,3)(ZM-95 MX)	2,00	0,25	2,0	1.770,00
ZM Bombas	MAXXI 2,00 x 0,35m (D39,3)	2,00	0,35	2,0	2.140,00
ZM Bombas	MAXXI 1,50 x 0,40m-PALETAS	1,50	0,4	2,0	1.490,00
ZM Bombas	MAXXI 1,60 x 0,50m-PAL.(01 JG.AVULSA)	1,60	0,5	2,0	1.350,00
ZM Bombas	MAXXI 1,00 x 0,25m (D29,2) "FIBRA"	1,00	0,25	2,0	1.215,00
ZM Bombas	MAXXI 1,40 x 0,25m (D32,5) "FIBRA"	1,40	0,25	2,0	1.600,00

Fonte: Pesquisa de mercado.

### 3.2 Modelos de Geradores

Para a seleção dos geradores que atendam a aplicabilidade deste projeto foram considerados os modelos do fabricante ALTERIMA, sobretudo por operarem numa baixa faixa de rotação (entre 600 e 1200 rpm).

Tabela 3.2: Geradores utilizados no banco de dados do aplicativo (condição econômica – julho/11).

Potência [kVA]	Potência [W]	Rotação [RPM]	Voltagem [Volts]	Frequência [Hz]	Rendimento [ $\eta$ ]	Preço [R\$]
0,5	460	600	127	30	0,85	2237,88
		1200	127 / 220	60	0,85	
1	920	600	127	30	0,85	2353,11
		1200	127 / 220	60	0,85	
2	1840	600	127	30	0,85	2485,56
		1200	127 / 220	60	0,85	
3	2760	600	127	30	0,85	2662,44
		1200	127 / 220	60	0,85	
4	3680	600	127	30	0,85	2871,77
		1200	127 / 220	60	0,85	
5	4600	600	127	30	0,85	2959,81
		1200	127 / 220	60	0,85	

Fonte: dados fornecidos pelo fabricante.

### 3.3 Tubulação Adutora

Para a tubulação adutora foram considerados os diâmetros comerciais disponíveis no mercado. Os preços da Tabela 3.3 são as médias de preços pesquisados (considerando revendedores e marcas diferentes) para cada diâmetro da tubulação.

Tabela 3.3: Dados de tubos d'água disponíveis no mercado (condição econômica – outubro/11).

Diâmetro[mm]	12,5	20	25	30	40	50	62,5	75	100	125	150	200	250	300
Preço/metros [R\$/m]	1,50	1,92	2,33	5,17	6,75	5,92	6,50	6,92	8,62	13,50	19,50	41,67	42,50	84,17

### 3.4 Condutores elétricos

O processo para a obtenção dos preços dos cabos elétricos disponíveis no mercado foi semelhante ao da tubulação (considerando revendedores e marcas diferentes) e consta na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Cabos elétricos disponíveis no mercado (condição econômica – outubro/11).

<b>Bitola [mm<sup>2</sup>]</b>	1,5	2,5	4	6	10	16
<b>Preço/metro [R\$/m]</b>	0,47	0,64	1,17	1,65	2,73	3,80

Fonte: Pesquisa de mercado.

### 3.5 Aparelhos elétricos

Para exemplificar a utilização da energia elétrica disponibilizada pelo conjunto roda d'água – gerador elétrico, o aplicativo disponibiliza uma lista de aparelhos elétricos que podem ser ligados simultaneamente.

Assim, segue a Tabela 3.5 simplificada de aparelhos e suas respectivas potencias de consumo disponibilizada pela “ELETROBRAS”, na qual parte desta será utilizada como banco de dados do aplicativo.

Tabela 3.5: Potência média de aparelhos elétricos.

<b>Aparelho Elétrico</b>	<b>Potência [W]</b>
LÂMPADA LED - 1W	1
LÂMPADA LED - 3W	3
RÁDIO RELÓGIO	5
BARBEADOR	10
RÁDIO ELÉTRICO PEQUENO	10
LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA - 15W	15
VÍDEOGAME	15
APARELHO DE SOM PEQUENO	20
LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA - 23W	23
LÂMPADA INCANDESCENTE - 40 W	40
TV EM PRETO E BRANCO	40
TV PORTÁTIL	40
RÁDIO ELÉTRICO GRANDE	45
FOGÃO COMUM	60
LÂMPADA INCANDESCENTE - 60 W	60
TV EM CORES - 14"	60
VENTILADOR PEQUENO	65
FRIGOBAR	70
TV EM CORES - 18"	70
CIRCULADOR AR PEQUENO/MÉDIO	90
GELADEIRA 1 PORTA	90
TV EM CORES - 20"	90
ASPIRADOR DE PÓ	100
LÂMPADA INCANDESCENTE -100 W	100
MÁQUINA DE COSTURA	100
BATEDEIRA	120
MICROCOMPUTADOR	120
VENTILADOR DE TETO	120
FREEZER	130
GELADEIRA 2 PORTAS	130
CIRCULADOR AR GRANDE	200
LIQUIDIFICADOR	300
LAVADORA DE ROUPAS	500
CAFETEIRA ELÉTRICA	600
SECADOR DE CABELOS PEQUENO	600
FERRO ELÉTRICO AUTOMÁTICO	1000
FORNO MICROONDAS	1200
CHUVEIRO ELÉTRICO	3500

Fonte: [www.eletronbras.gov.br](http://www.eletronbras.gov.br), acesso em 21/07/2011.

## 4. FUNCIONAMENTO DO APLICATIVO “E-RODA”

O aplicativo possui o nome “**E-Roda**”, no qual o “**E**” é uma alusão à eletricidade e “**Roda**” referente à própria roda d'água.

A tela inicial do aplicativo trata-se de uma planilha do Excel<sup>®</sup> (Figura 4.1) e possui dois botões: *Iniciar* e *Sair*. O botão *Iniciar* inicia propriamente o programa (interface desenvolvida em VBA). O botão *Sair* encerra o Excel<sup>®</sup>.

As tabelas que são utilizadas como banco de dados para as análises do aplicativo estão em planilhas ocultas e bloqueadas. Caso seja necessário fazer a atualização dos dados desse banco de dados, o usuário que possuir a senha para desbloqueio pode acessá-las.



Figura 4.1: Tela de entrada do aplicativo E-Roda.

Ao clicar em *Iniciar* é exibida uma janela contendo cinco páginas. São elas: *Principal*, *Lista de Aparelhos*, *Investimento*, *Ajuda* e *Sobre*.

### 4.1 Página Principal

Esta página contém as entradas e saídas do aplicativo (*input* e *output*). É onde devem ser inseridos os parâmetros de entrada, tais como: *vazão d'água*, *altura da queda d'água*, *diâmetro da roda*, *comprimento da tubulação adutora*, *distância até a utilização*, *tensão da rede* e *rotação do gerador*.

Conforme a Figura 4.2, os dados de saída (*output*) não são exibidos, apenas os dados de entrada (*input*). Os dados de saída somente são exibidos ao clique do

botão *Calcular*, pois o objetivo é não poluir o aplicativo com informações desnecessárias.

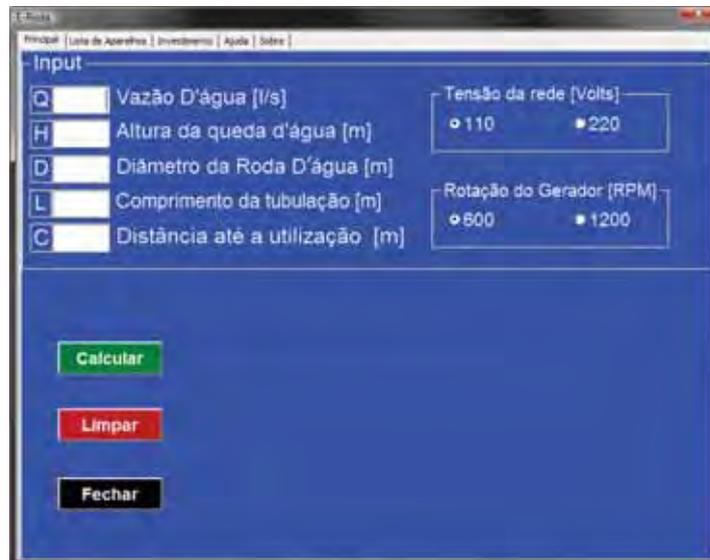


Figura 4.2: Página *Principal* do aplicativo E-Roda.

#### 4.1.1 Input

Conforme já descrito a janela input contém os parâmetros de entrada do aplicativo, que são explicados a seguir:

- ✓ **Vazão d'água [l/s]:** esta caixa deve ser preenchida com o valor da vazão d'água que deságua na roda d'água instalada (em litros por segundo);
- ✓ **Altura da queda d'água [m]:** esta caixa deve ser preenchida com a medida do desnível d'água entre a montante e a jusante da roda d'água (em metros);
- ✓ **Diâmetro da roda d'água [m]:** valor do diâmetro da roda d'água (em metros);
- ✓ **Comprimento da tubulação [m]:** esta entrada deve ser preenchida com o comprimento da tubulação adutora da pCH (em metros). É necessário quando se possui apenas a roda d'água (não instalada) e deseja-se calcular o diâmetro da tubulação;

- ✓ **Distância até a utilização [m]:** este campo deve ser preenchido com a distância entre a instalação da pCH e o ponto onde se pretende utilizar a eletricidade gerada pela mesma (em metros);
- ✓ **Tensão da rede [volts]:** nesta caixa há duas opções de tensão de saída do gerador (110 e 220 Volts). Assim o usuário deve selecionar qual tensão ele pretende para a utilização da eletricidade.
- ✓ **Rotação do gerador [rpm]:** também oferece duas opções de rotação (600 e 1200 rpm). O usuário deve indicar qual gerador do banco de dados do aplicativo ele pretende utilizar, o que influenciará no projeto do multiplicador de velocidade.

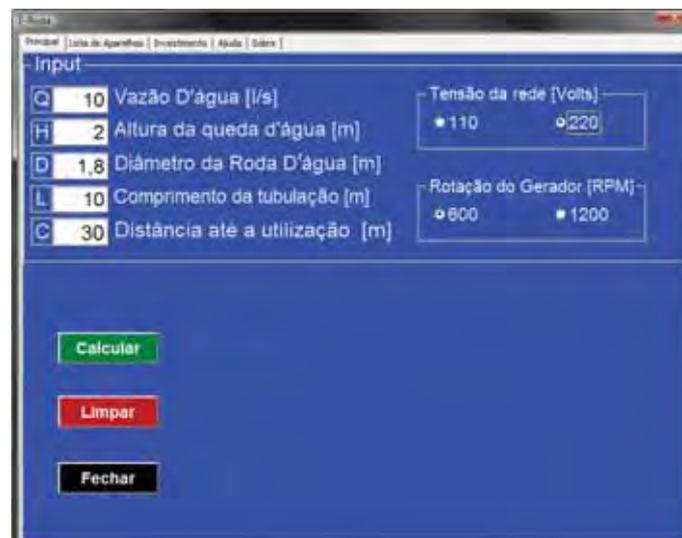


Figura 4.3: Parâmetros de entrada preenchidos.

#### 4.1.2 Botões Calcular, Limpar e Fechar

Nesta janela há três botões, cujas suas funções são descritas a seguir:

- ✓ *Calcular:* após a inserção dos dados de entrada, o usuário deve clicar neste botão para dar início à análise técnico-econômica, que é a principal função do aplicativo. Assim os dados de saída são exibidos (Figura 4.4).
- ✓ *Limpar:* quando se deseja realizar uma nova análise, o usuário deve clicar neste botão, que limpará os dados de entrada e ocultará os dados de saída (Figura 4.5).
- ✓ *Fechar:* fecha o aplicativo e retorna a interface inicial do Excel®.

Input		Output	
Q	10 Vazão D'água [l/s]	Potência Disponível	78 [W]
H	2 Altura da queda d'água [m]	Gerador elétrico	0.5 [kVA]
D	1.8 Diâmetro da Roda D'água [m]	Bitola do cabo elétrico	1.5 [mm <sup>2</sup> ]
L	10 Comprimento da tubulação [m]	Diâmetro da tubulação adutora	100 [mm]
C	30 Distância até a utilização [m]	Rotação da roda d'água	26 [RPM]
		Fator de multiplicação de velocidade	23

Figura 4.4: Tela após o clique no botão *Calcular*.

Input		Output	
Q	Vazão D'água [l/s]	Potência Disponível	
H	Altura da queda d'água [m]	Gerador elétrico	
D	Diâmetro da Roda D'água [m]	Bitola do cabo elétrico	
L	Comprimento da tubulação [m]	Diâmetro da tubulação adutora	
C	Distância até a utilização [m]	Rotação da roda d'água	
		Fator de multiplicação de velocidade	

Figura 4.5: Tela após o clique no botão *Limpar*.

### 4.1.3 Validação dos dados de entrada

O aplicativo possui algumas limitações referentes aos dados de entrada, de forma a evitar que o usuário cometa erros na inserção dos mesmos. O aplicativo emite mensagens de alerta para cada tipo de erro, todas após o comando do botão *Calcular*, conforme segue:

- ✓ **Preencher todos os parâmetros de entrada!** - mensagem exibida quando o usuário não preenche todos os campos de entrada de dados. O aplicativo executa a análise somente quando os campos de entrada são preenchidos corretamente.

- ✓ **Digitar somente valores numéricos!** - mensagem exibida quando qualquer um dos campos de entrada de dados não contém valores numéricos.
- ✓ **Diâmetro da roda é maior que a altura da queda d'água!** - mensagem exibida quando o diâmetro da roda d'água digitado é maior que a altura da queda d'água, o que não é possível se tratando de uma roda d'água acionada por cima. Após a mensagem os campos destes dois parâmetros são apagados para que sejam corrigidos pelo usuário.
- ✓ **O valor da vazão deve ser menor que 210 [l/s]!** - mensagem exibida quando o valor de vazão digitado for acima de 210 [l/s], ou seja, maior que a vazão que o maior tubo comercial cadastrado consegue suportar.
- ✓ **Valor do diâmetro da roda d'água muito grande!** - mensagem exibida quando o diâmetro da roda d'água digitado no campo de entrada for maior que 6 metros. Somente uma mensagem de alerta, pois não impede que o aplicativo execute as análises técnicas e econômicas.
- ✓ **Valor da queda muito acima do diâmetro da roda (perda de precisão do resultado)!** - mensagem exibida para alertar o usuário que o valor da queda d'água está muito acima do diâmetro da roda (50 [cm] ou mais acima), o que significa que nem toda a energia potencial disponível será aproveitada para o giro da roda, ocasionando a perda de precisão da resposta do aplicativo.

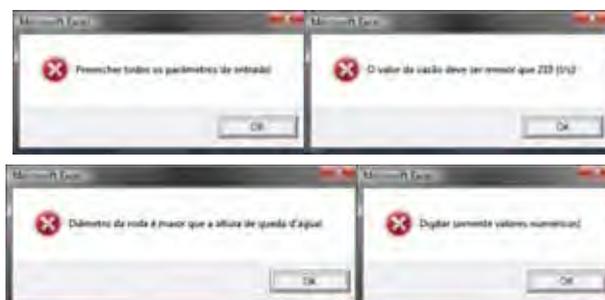


Figura 4.6: Mensagens críticas exibidas pelo aplicativo.

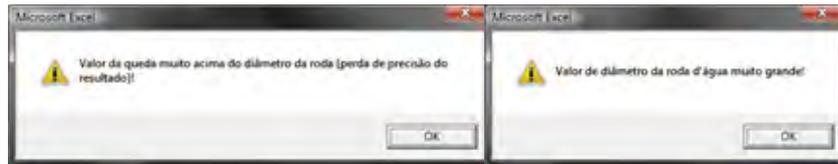


Figura 4.7: Mensagens de alerta exibidas pelo aplicativo.

#### 4.1.4 Output

A saída dos dados contém os dados com a resposta técnica do aplicativo para os parâmetros de entrada inseridos pelo usuário. É exibido após o clique do botão *Calcular*. As saídas do aplicativo são explicadas a seguir.

- ✓ **Potência disponível:** é a principal análise técnica realizada pelo aplicativo. Nesta caixa é exibido o valor da potência elétrica (em Watt) disponível para aquela instalação.
- ✓ **Gerador elétrico:** nesta saída é exibida a especificação do gerador elétrico de imã permanente (em kVA).
- ✓ **Bitola do cabo elétrico:** nesta saída o aplicativo exibe o valor da seção transversal do cabo elétrico (em milímetros) indicado para a instalação em questão (especificado através do método Ampere-metro).
- ✓ **Diâmetro da tubulação adutora:** exibição do diâmetro da tubulação adutora especificado, em milímetros, considerando a equação de Bresse.
- ✓ **Rotação da roda d'água:** exibe o valor da rotação da roda d'água calculado (em rotações por minuto).
- ✓ **Fator de multiplicação de velocidade:** exibe o valor da rotação que deverá ser multiplicado entre a saída da roda e a entrada do gerador elétrico de imã permanente. Auxilia no projeto do multiplicador de velocidade.

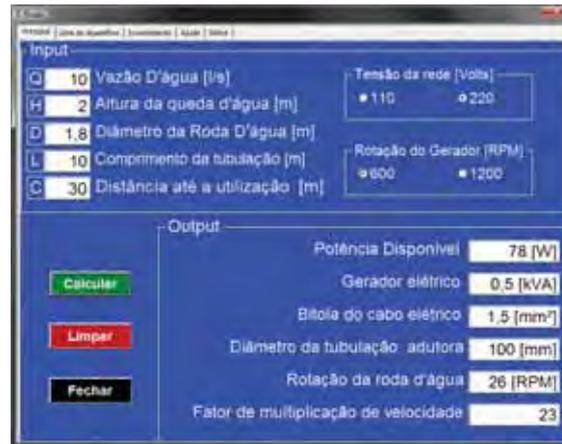


Figura 4.8: Dados de saída (output) da página *Principal* do E-Roda.

## 4.2 Lista de Aparelhos

Esta página consiste em exemplificar o uso da potência elétrica calculada na página *Principal*. Ao clicar no botão *Calcular*, é gerada uma lista de aparelhos que podem ser ligados simultaneamente, considerando a potência elétrica calculada, conforme Figura 4.9.

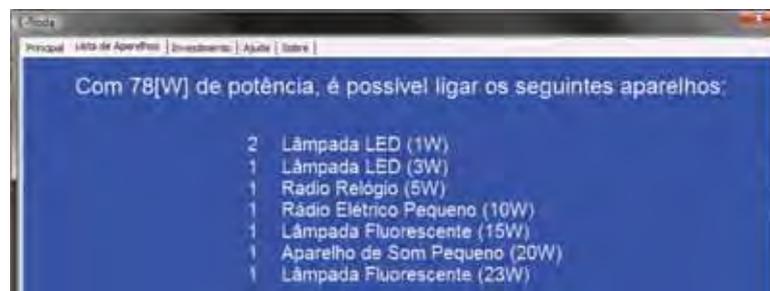


Figura 4.9: Página *Lista de Aparelhos* após o processamento do aplicativo.

Quando o botão *Limpar* é executado, na página *Principal*, esta lista é ocultada.

## 4.3 Investimento

Esta é uma página importante do aplicativo, pois exhibe o valor do investimento para adaptação da roda d'água para geração de eletricidade, considerando os custos de tubulação adutora, cabo elétrico e gerador de imã permanente. Ou seja, permite a análise econômica da adaptação.

Valor estimado do investimento para adaptação da roda d'água	
Preço de 30 [m] de cabo elétrico	R\$ 14,10
Preço de 10 [m] de Tubulação adutora	R\$ 63,33
Preço do Gerador de 0,5 [kVA]	R\$ 2.237,88
<b>Valor total do investimento</b>	<b>R\$ 2.315,31</b>

Figura 4.10: Página *Investimento* com os valores monetários para a adaptação da roda d'água.

Também quando o botão *Limpar* é acionado, as caixas de texto desta página ficam em branco, para que outra análise possa ser realizada. Somente são preenchidas novamente quando o aplicativo é processado novamente, através do botão *Calcular*.

#### 4.4 Ajuda

Esta página exibe uma legenda para servir como ajuda para o usuário a entender os parâmetros que o aplicativo precisa para realizar a análise técnico-econômica.

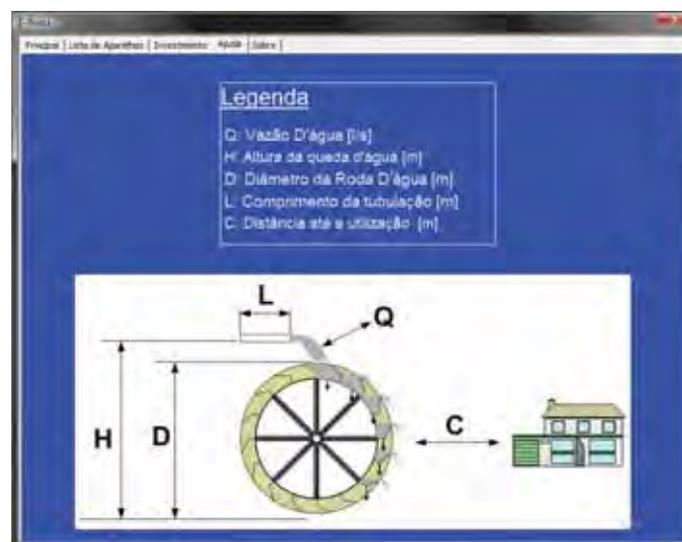


Figura 4.11: Página *Legenda* do aplicativo *E-Roda*.

#### 4.5 Sobre

Esta página contém informações gerais sobre o aplicativo *E-Roda* e o autor.

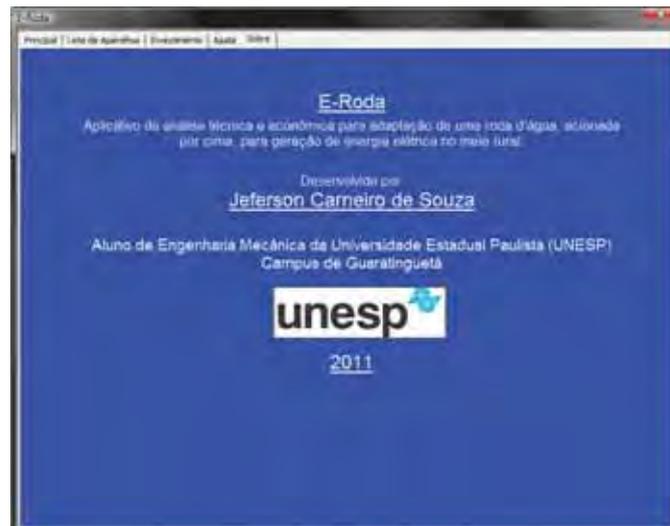


Figura 4.12: Página *Sobre* que contém informações sobre o aplicativo e o autor.

## 4.6 Fluxograma

A Figura 4.13: Fluxograma de funcionamento do aplicativo. apresenta o fluxograma do aplicativo E-Roda.

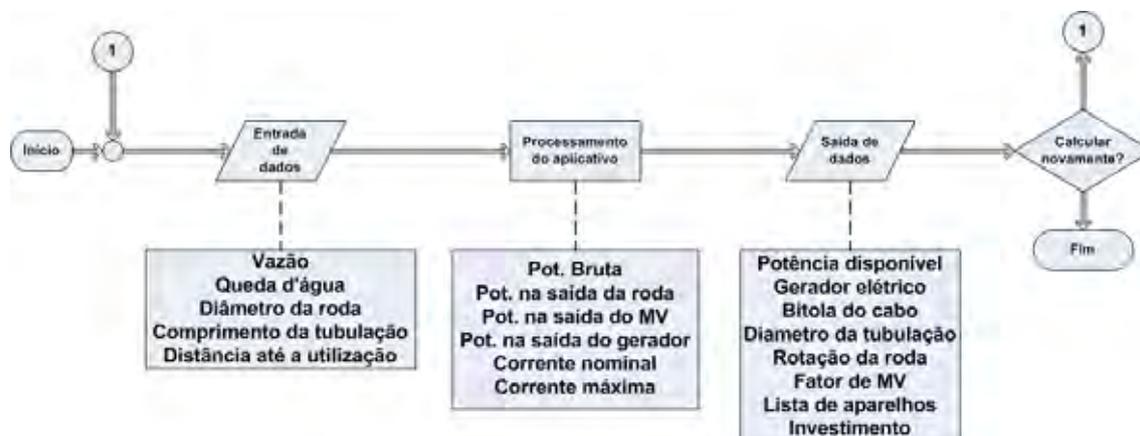


Figura 4.13: Fluxograma de funcionamento do aplicativo.

## 5. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Neste capítulo seguem dois exemplos práticos para testar a funcionalidade do aplicativo “E-Roda”.

### 5.1 Exemplo 1

João tem uma propriedade rural de médio porte para criação de gados e aves. Nesta propriedade está instalada uma roda d'água de 2 metros de diâmetro onde se aproveita 2,2 metros de queda d'água e uma vazão de 10 litros por segundo para girar esta roda. João pretende substituir o bombeamento d'água por um gerador elétrico e utilizar a energia elétrica gerada em um rancho da propriedade que dista 100 metros do local de instalação da roda. A tensão de utilização dos aparelhos da roda é de 110 volts.

Determine quanto de potência elétrica João terá disponível em sua propriedade e qual o valor do investimento caso ele resolva adaptar o uso da roda d'água para geração de eletricidade.

#### *Resolução*

Dados do exemplo:

- ✓ Vazão d'água = 10 [l/s]
- ✓ Queda d'água = 2,2 [m]
- ✓ Diâmetro da Roda = 2,0 [m]
- ✓ Distância até a utilização = 100 [m]
- ✓ Tensão da rede = 110 [V]
- ✓ Rotação do gerador = 600 [rpm]

Considerando os dados do exemplo, basta inseri-los no aplicativo “E-Roda”, conforme Figura 5.1.

The screenshot shows a software window titled 'Acta' with a menu bar (Arquivo, Lista de Arquivos, Environmento, Ajuda, Sobre). The main area is divided into 'Input' and 'Output' sections. The 'Input' section contains the following fields:

Field	Value	Unit
Q	10	Vazão D'água [l/s]
H	2.2	Altura da queda d'água [m]
D	2	Diâmetro da Roda D'água [m]
L	0	Comprimento da tubulação [m]
C	100	Distância até a utilização [m]

On the right side of the 'Input' section, there are two radio button options:

- Tensão da rede [Volts]:  110 (selected),  220
- Rotação do Gerador [RPM]:  600 (selected),  1200

Below the input fields are three buttons: 'Calcular' (green), 'Limpar' (red), and 'Fechar' (black).

Figura 5.1: Entrada de dados do exemplo 1.

Neste caso o valor do comprimento da tubulação deve ser preenchido com zero, pois a roda d'água já está instalada na propriedade, não havendo a necessidade especificar o diâmetro da tubulação (pois já existe).

Após a inserção dos dados, basta clicar no botão *Calcular* para o aplicativo efetuar a análise.

The screenshot shows the same software window as Figure 5.1, but now with the 'Output' section populated with results:

Field	Value	Unit
Potência Disponível	86	[W]
Gerador elétrico	0,5	[kVA]
Bitola do cabo elétrico	2,5	[mm²]
Diâmetro da tubulação adutora	100	[mm]
Rotação da roda d'água	26	[RPM]
Fator de multiplicação de velocidade	23	

The 'Input' section and buttons remain the same as in Figure 5.1.

Figura 5.2: Análise técnica do aplicativo para o exemplo 1.

A potência elétrica disponível para a utilização para o caso do João é de **86 [W]**. Com este valor João poderá utilizar simultaneamente os seguintes aparelhos (Figura 5.3).

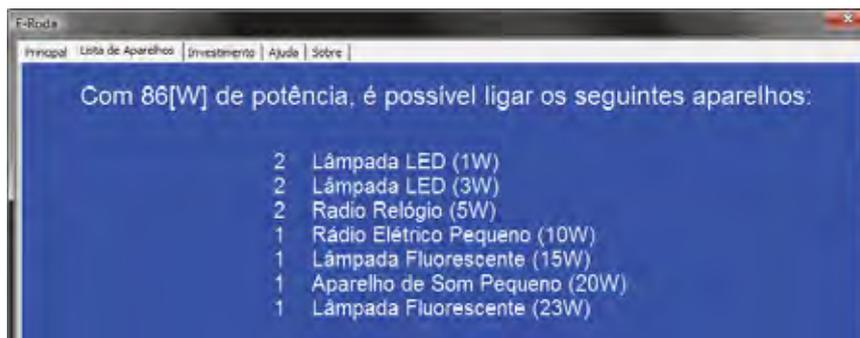


Figura 5.3: Lista de aparelhos para o exemplo 1.

O investimento que o João fará, caso opte pela adaptação, consiste apenas na soma dos preços do cabo elétrico e do valor do gerador de imã permanente. Conforme a Figura 5.4, João terá que fazer um investimento de **R\$2301,88**.

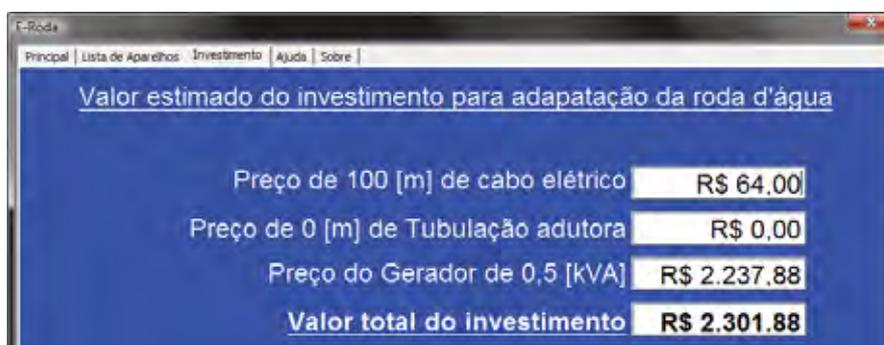


Figura 5.4: Análise econômica do aplicativo (investimento) para o exemplo 1.

## 5.2 Exemplo 2

Fernanda possui um sítio na zona rural, interior do Maranhão. Nesta região não há disponibilidade de eletricidade pela concessionária do Estado. Assim, Fernanda pretende instalar uma roda d'água de 1,5 metros de diâmetro, que ela possui em sua propriedade, para geração de eletricidade. Ela pretende utilizar água de um riacho que dista 30 metros de sua propriedade. Medidas preliminares feitas pelo caseiro de seu sítio indicam uma vazão média a ser aproveitada de 15 litros por segundo. Ela pretende utilizar desta energia para ligar alguns aparelhos na sala de sua casa, que utilizam 220 Volts, que dista 50 metros da instalação pretendida para a roda d'água.

Indique uma altura da queda d'água aceitável para estas condições apresentadas, determine a potência elétrica gerada (exemplificando com alguns aparelhos que possam ser ligados simultaneamente) e, por fim, detalhe o investimento que ela fará caso opte pela utilização da roda para geração de eletricidade.

### *Resolução*

A altura da queda d'água ideal está na ordem de 20 [cm] a mais que o diâmetro da roda d'água, sendo 10 [cm] na parte de cima da roda mais 10 [cm] na parte de baixo. Com isso os parâmetros de entrada para o aplicativo para este caso são os seguintes:

Dados do exemplo:

- ✓ Vazão d'água = 15 [l/s]
- ✓ Queda d'água = 1,7 [m]
- ✓ Diâmetro da Roda = 1,5 [m]
- ✓ Distância até a utilização = 30 [m]
- ✓ Tensão da rede = 220 [V]
- ✓ Rotação do gerador = 1200 [rpm]

Considerando os dados do exemplo, basta inseri-los no aplicativo “E-Roda”, conforme Figura 5.5.

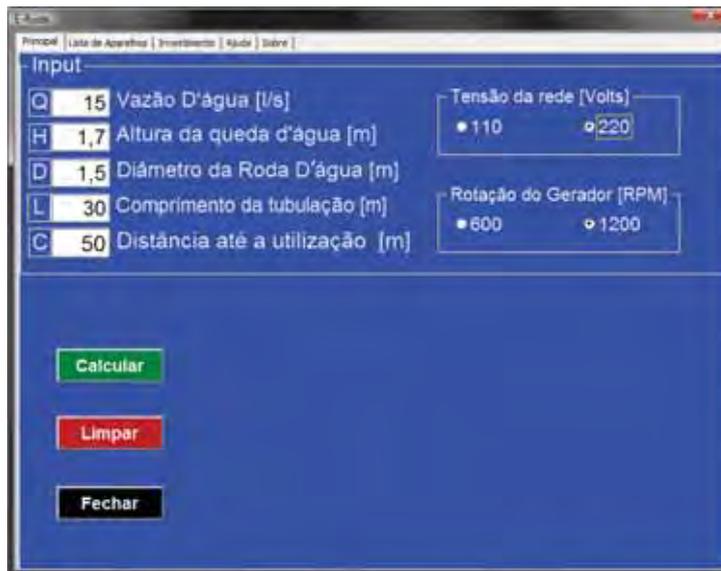


Figura 5.5: Entrada de dados do exemplo 2.

Após a inserção dos dados, basta clicar no botão *Calcular* para o aplicativo efetuar a análise.

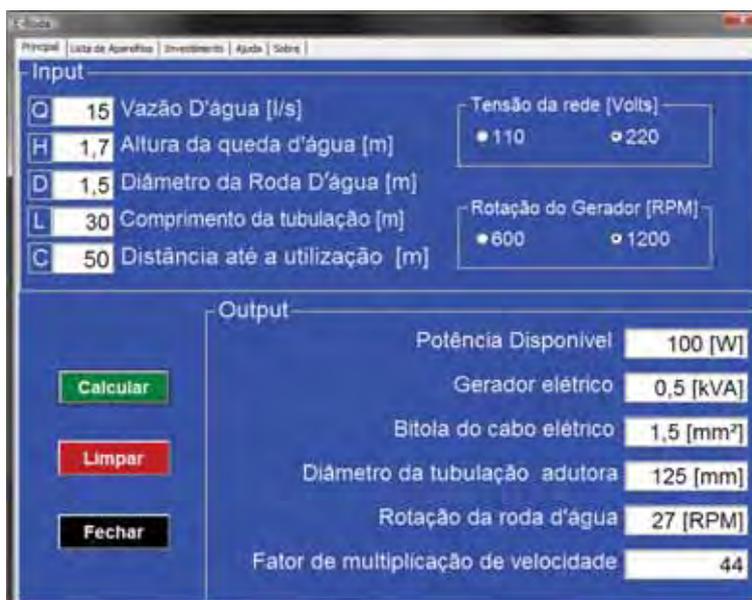


Figura 5.6: Análise técnica do aplicativo para o exemplo 2.

A potência elétrica disponível para a utilização para o caso da Fernanda é de **100 [W]**. Com este valor Fernanda poderá utilizar simultaneamente os seguintes aparelhos (Figura 5.7).

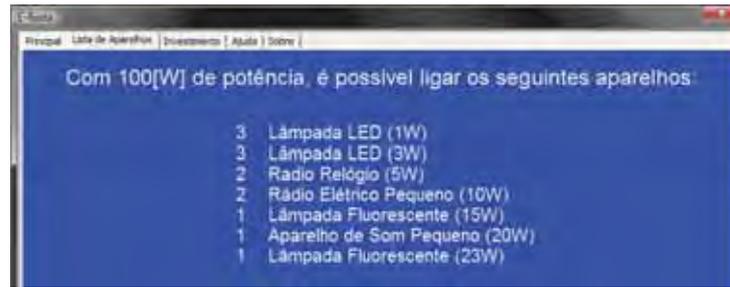


Figura 5.7: Lista de aparelhos para o exemplo 2.

Conforme Figura 5.8, João terá que fazer um investimento de **R\$2666,38**.

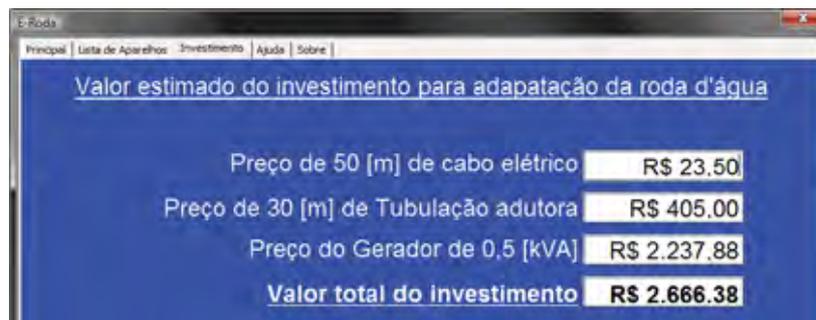


Figura 5.8: Análise econômica do aplicativo (investimento) para o exemplo 2.

## 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O produto gerado neste trabalho (aplicativo “E-Roda”) foi desenvolvido e testado muitas vezes até chegar à versão final para a defesa do trabalho de graduação. Todavia nenhum teste experimental ocorreu para validar a funcionalidade do aplicativo. O que ocorreu principalmente pela indisponibilidade de se obter uma roda d’água, conectada a um multiplicador de velocidade, disponível para a realização dos testes.

Essa indisponibilidade não foi empecilho para o desenvolvimento do aplicativo, visto que valores de rendimentos dos equipamentos como a roda d’água e multiplicador de velocidade podem ser posteriormente obtidos e facilmente alterados na programação do aplicativo.

O mesmo se pode dizer da atualização dos valores dos preços dos equipamentos e materiais do banco de dados, pois a programação foi desenvolvida considerando a leitura e carregamento dos dados das tabelas, não sendo necessária a modificação da programação quando da necessidade da atualização dos preços. Basta que esses valores sejam atualizados nas tabelas do aplicativo.

O aplicativo “E-Roda” se mostrou robusto e de fácil aplicação, contando com mensagens de alerta ao usuário, referente às limitações de entrada de dados. Contudo há melhorias no aplicativo que devem ser realizadas. Como exemplo, a limitação quanto à quantidade máxima de vazão que uma roda d’água pode suportar, ou seja, uma mensagem que indique que acima de tal valor de vazão a exatidão da análise do aplicativo fica comprometida, visto que a roda não consegue transformar toda a energia potencial da água em energia cinética de rotação.

Há dois trabalhos futuros que devem ser desenvolvidos para melhorar a abrangência e exatidão da análise do aplicativo. O primeiro diz respeito à incorporação do multiplicador de velocidade. Não fez parte do escopo deste trabalho, mas é um dispositivo fundamental para o funcionamento da pico central hidrelétrica. No momento a única resposta que o aplicativo apresenta refere-se à

fator de multiplicação de velocidade entre a roda d'água e o gerador elétrico. Futuramente o aplicativo deve oferecer, como parâmetro de entrada, opções de tipos de MV (polia-correia, corrente e engrenagens) e como saída especificações para o projeto do mesmo (diâmetro do eixo intermediário, tipo de correia, tipo de acoplamento entre roda d'água-MV e MV-gerador). Além de incluir o MV no valor do investimento dado como resposta do aplicativo.

O segundo desenvolvimento que deve ser considerado diz respeito à inclusão da roda d'água na análise econômica do aplicativo. Este foi desenvolvido para analisar casos de adaptação do uso de rodas d'água para geração de eletricidade, partindo da premissa da existência de uma roda d'água.

Para tornar o aplicativo mais abrangente pode-se colocar a disposição do usuário uma lista de rodas d'água disponíveis no mercado para que o mesmo realize uma análise econômica considerando o valor da roda d'água escolhida.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MACINTYRE, A.J. **Máquinas Motrizes Hidráulicas**. Ed. Guanabara Dois, 1983, Rio de Janeiro.

POTTER, M.C.; WIGGERT; D.C. **Mecânica dos Flúidos**. Ed. Thomson, 2004, São Paulo.

LINSINGEN, I.V. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. 2.ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003.

COTRIM, A.A.M.B. **Instalações Elétricas**. 3.ed. Ed. Makron Books, 1992, São Paulo.

NOGUEIRA, F.J.H.. **Microcentrais Hidrelétricas**. FAPEPE, 2007. Itajubá. Disponível em: [www.cerpch.unifei.edu.br/cartilhas.php](http://www.cerpch.unifei.edu.br/cartilhas.php). Acesso em 28/07/2011.

JUNIOR, A.S. **Energias Renováveis**. FAPEPE, 2007. Itajubá. Disponível em: [www.cerpch.unifei.edu.br/cartilhas.php](http://www.cerpch.unifei.edu.br/cartilhas.php). Acesso em 28/07/2011.

SOUZA, T.M.; BIANCHI, I. **Software para dimensionamento de microcentrais hidrelétricas**. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas.

SOUZA, T.M.; COSTA, P.C. **Roda d'água para bombear água e gerar energia elétrica no meio rural**. 82° SEMANA DO FAZENDEIRO, 2011, Viçosa.

SOUZA, T.M.; Notas de aula da disciplina **Eletricidade Geral**, 2010, Guaratinguetá.

FILHO, G.E.F.F.; Notas de aulas da disciplina **Sistemas Fluido-Mecânicos**, 2009, Guaratinguetá.

SILVA, M.G.; **Excel 97 – Access 97 – PowerPoint 97**. Ed. Érica, 1998, São Paulo.

Manual Técnico Schneider Motobombas.

Disponível em: [www.schneider.ind.br/\\_slg/index.php/go/manuais](http://www.schneider.ind.br/_slg/index.php/go/manuais). Acesso em 20/07/2011.

Especificações técnicas de geradores de ímãs permanentes.

Disponível em: [www.alterima.com.br](http://www.alterima.com.br). Acesso em 20/07/2011.

Especificações técnicas de rodas d'águas.

Disponível em: [www.zmbombas.com](http://www.zmbombas.com) e [www.rochfer.com.br](http://www.rochfer.com.br). Acesso em 12/08/2011.

Informações sobre centrais hidrelétricas.

Disponível em: [www.cerpch.unifei.edu.br/](http://www.cerpch.unifei.edu.br/). Acesso em 17/08/2011.

## 8. APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO APLICATIVO “E-RODA”

```
Private Sub btiniciar_Click()
    Aplicativo.Show 1
End Sub
```

```
Private Sub btSair_Click()
    Application.Quit
End Sub
```

```
Private Sub BtCalcular_Click()
```

```
'VARIABLES
```

```
Dim pdisponivel As Integer
Dim mv As Integer
Dim rotacaoroda As Integer
'Dim queda As Double, diametro As Double
'Dim vazao As Double, queda As Double, diametro As Double, comprimento As Double
'Dim vazao As Integer, queda As Integer, diametro As Integer, comprimento As Integer
Dim teste As String
```

```
'CONSTANTES
```

```
nroda = 0.8
nmv = 0.6
ngerador = 0.85
ppotencia = 0.02
```

```
'VARIABLES
```

```
vazao = 0
queda = 0
diametro = 0
Distancia = 0
Comprimento = 0
```

```
'INPUT
```

```
vazao = VazaoBox.Value
queda = QuedaBox.Value
diametro = DiametroBox.Value
Distancia = DistanciaBox.Value
Comprimento = ComprimentoBox.Value
```

```
If option110.Value = True Then
    tensao = 110
Else
    tensao = 220
End If
```

```
'VALIDAÇÃO
```

## Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica

```

If queda = "" Or diametro = "" Or vazao = "" Or Distancia = "" Or Comprimento = "" Then
    MsgBox "Preencher todos os parâmetros de entrada!", vbCritical
    GoTo erro
End If

If Not IsNumeric(queda) Or Not IsNumeric(diametro) Or Not IsNumeric(vazao) Or Not
IsNumeric(Distancia) Or Not IsNumeric(Comprimento) Then
    MsgBox "Digitar somente valores numéricos!", vbCritical
    GoTo erro
End If

If vazao > 210 Then
    MsgBox "O valor da vazão deve ser menor que 210 [l/s]!", vbCritical
    VazaoBox.Value = ""
    GoTo erro
End If

If diametro > queda Then
    MsgBox "Diâmetro da roda é maior que a altura de queda d'água!", vbCritical
    QuedaBox.Text = ""
    DiametroBox.Text = ""
    GoTo erro
End If

If diametro > 6 Then
    MsgBox "Valor de diâmetro da roda d'água muito grande!", vbExclamation
End If

teste = queda - 0.5

If teste > diametro Then
    MsgBox "Valor da queda muito acima do diâmetro da roda (perda de precisão do resultado)!",
vbExclamation
End If

'limpar aba Lista de Aparelhos
aparelholbl.Caption = ""
quantlbl.Caption = ""
lbltitulo.Caption = ""

'PROCESSAMENTO

'calculo de todas as variaveis

pbruta = queda * vazao * 736 / 75      'cálculo da potência [W], equação de Bernoulli adaptada
proda = pbruta * nroda                'potência disponível na saída da roda
pmv = proda * nmv                    'potência disponível na saída do multiplicador de velocidade
pgerador = pmv * ngerador             'potência disponível na saída do gerador
pdisponivel = pgerador * (1 - ppotencia) 'potência disponível para utilização

rotacaoroda = 25 * (queda / diametro) ^ 0.5 'cálculo da rotação da roda

correntenominal = pgerador / tensao    'cálculo da corrente nominal
correntemaxima = correntenominal * 1.25 'cálculo da corrente máxima
amperometro = correntemaxima * Distancia 'cálculo amperometro

If Option600 = True Then

```

```

    mv = 600 / rotacaoroda
Else
    mv = 1200 / rotacaoroda
End If

```

'especificação da tubulação adutora

```
Dim lista_tubulacao(18, 4) As Variant 'declaração da matriz com os dados da tubulação
```

```
bresse = 0.9 * 1000 * (vazao / 1000) ^ 0.5 'cálculo do diâmetro da tubulação pela equação de Bresse
```

```

j = 1
While Worksheets("tubulacao").Cells(j + 1, 1) <> 0
    lista_tubulacao(j, 1) = Worksheets("tubulacao").Cells(j + 1, 1).Value
    lista_tubulacao(j, 2) = Worksheets("tubulacao").Cells(j + 1, 2).Value
    lista_tubulacao(j, 3) = Worksheets("tubulacao").Cells(j + 1, 3).Value
    lista_tubulacao(j, 4) = Worksheets("tubulacao").Cells(j + 1, 4).Value
    j = j + 1
Wend

```

```

j = 1
While lista_tubulacao(j, 2) < bresse
    j = j + 1
Wend

```

```

dimtub = lista_tubulacao(j, 2)
ptubulacao = lista_tubulacao(j, 4) * Comprimento

```

'especificação do cabo

```
Dim lista_Cabo(6, 4) As Variant 'declaração da matriz com os dados dos condutores
```

```

j = 1
While Worksheets("cabo").Cells(j + 1, 1) <> 0
    lista_Cabo(j, 1) = Worksheets("cabo").Cells(j + 1, 1).Value
    lista_Cabo(j, 2) = Worksheets("cabo").Cells(j + 1, 2).Value
    lista_Cabo(j, 3) = Worksheets("cabo").Cells(j + 1, 3).Value
    lista_Cabo(j, 4) = Worksheets("cabo").Cells(j + 1, 4).Value
    j = j + 1
Wend

```

```

If (tensao = 110 And amperemetro > 958) Or (tensao = 220 And amperemetro > 1912) Then
    bitola = 16
    pcabo = 3.8 * Distancia
Else

```

```

    Select Case tensao
        Case Is = 110
            j = 1
            While lista_Cabo(j, 1) < amperemetro
                j = j + 1
            Wend
            bitola = lista_Cabo(j, 3)
            pcabo = lista_Cabo(j, 4) * Distancia
        Case Is = 220
            j = 1
            While lista_Cabo(j, 2) < amperemetro

```

```

        j = j + 1
    Wend
    bitola = lista_Cabo(j, 3)
    pcabo = lista_Cabo(j, 4) * Distancia
End Select

End If

'especificação do gerador

Dim lista_gerador(6, 3) As Variant      'declaração da matriz com os dados dos geradores

j = 1
While Worksheets("gerador").Cells(j + 1, 1) <> 0
    lista_gerador(j, 1) = Worksheets("gerador").Cells(j + 1, 1).Value
    lista_gerador(j, 2) = Worksheets("gerador").Cells(j + 1, 2).Value
    lista_gerador(j, 3) = Worksheets("gerador").Cells(j + 1, 3).Value
    j = j + 1
Wend

If pmv <= 4600 Then

    j = 1
    While lista_gerador(j, 2) < pmv
        j = j + 1
    Wend
    gerador = lista_gerador(j, 1)
    preco_gerador = lista_gerador(j, 3)
Else
    MsgBox "Não há gerador no banco de dados para esta potência!", vbExclamation
    gerador = 0
    preco_gerador = 0
End If

'valor do investimento
ptotal = preco_gerador + pcabo + ptubulacao

'OUTPUT

'aba PRINCIPAL

Saida.Visible = True

potenciabox.Text = pdisponivel & " [W]"
cabobox.Text = bitola & " [mm²]"
geradorbox.Text = gerador & " [kVA]"
dimtubbox.Text = dimtub & " [mm]"
rotacaorodabox.Text = rotacaoroda & " [rpm]"
mvbox.Text = mv

'aba INVESTIMENTO

pcabolbl.Caption = "Preço de " & Distancia & " [m] de cabo elétrico"

```

```
ptubulacaobl.Caption = "Preço de " & Comprimento & " [m] de Tubulação adutora"
pgeradorlbl.Caption = "Preço do Gerador de " & gerador & " [kVA]"
ptotallbl.Caption = "Valor total do investimento"
```

```
pcabobox.Text = pcabo
pcabobox.Text = Format(pcabobox.Text, "currency") 'valor em moeda
ptubulacaobox.Text = ptubulacao
ptubulacaobox.Text = Format(ptubulacaobox.Text, "currency") 'valor em moeda
pgeradorbox.Text = preco_gerador
pgeradorbox.Text = Format(pgeradorbox.Text, "currency") 'valor em moeda
ptotalbox.Text = ptotal
ptotalbox.Text = Format(ptotalbox.Text, "currency") 'valor em moeda
```

```
'aba LISTA DE APARELHOS
```

```
Dim lista_aparelho(20, 3) As Variant 'declaração da matriz com os dados dos aparelhos
Dim cont_pot As Integer
```

```
cont_pot = pdisponivel
```

```
j = 1
While Worksheets("Equipamentos").Cells(j + 1, 1) <> 0
lista_aparelho(j, 1) = Worksheets("Equipamentos").Cells(j + 1, 1).Value
lista_aparelho(j, 2) = Worksheets("Equipamentos").Cells(j + 1, 2).Value
j = j + 1
Wend
```

```
i = 1
While cont_pot > 0
cont_pot = cont_pot - lista_aparelho(i, 2)
If cont_pot >= 0 Then
lista_aparelho(i, 3) = lista_aparelho(i, 3) + 1
i = i + 1
Else
cont_pot = cont_pot + lista_aparelho(i, 2)
i = 1
End If
```

```
If i > j Then
i = 1
End If
Wend
```

```
For a = 1 To j
```

```
If lista_aparelho(a, 3) <> 0 Then
aparelholbl.Caption = aparelholbl.Caption & vbCr & lista_aparelho(a, 1)
quantlbl.Caption = quantlbl.Caption & vbCr & lista_aparelho(a, 3)
End If
```

```
Next
```

```
lbltitulo.Caption = "Com " & pdisponivel & "[W] de potência, é possível ligar os seguintes aparelhos:"
```

```
erro: 'marco para validação
```

```
End Sub
```

```
Private Sub BtLimpar_Click()
```

```
'limpar input  
QuedaBox.Value = ""  
DiametroBox.Value = ""  
VazaoBox.Value = ""  
DistanciaBox.Value = ""  
ComprimentoBox.Value = ""
```

```
'limpar output  
Saida.Visible = False
```

```
'limpar aba investimento  
pcabobox.Text = ""  
ptubulacaobox.Text = ""  
pgeradorbox.Text = ""  
ptotalbox.Text = ""
```

```
'limpar aba lista de aparelhos  
aparelholbl.Caption = ""  
quantlbl.Caption = ""  
lbltitulo.Caption = ""
```

```
End Sub
```

```
Private Sub btfechar_Click()
```

```
Unload Aplicativo
```

```
End Sub
```